饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[1]

乜 豪[1] 张铁涛[2] 崔 虎[1] 王中成[1] 谢静静[1] 高秀华[1*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081；2.中国农业科学院特产研究所，长春 130112）

摘 要：本试验旨在研究饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响。试验采用单因素完全随机试验设计，选取 60 日龄、健康、雄性水貂 70 只，平均体重为（957.37±93.96） g，随机分成 7 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。Ⅰ组为对照组，饲喂基础饲粮；Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组分别在基础饲粮中添加 1×10^{9}、1×10^{10} 和 1×10^{11} CFU/kg 枯草芽孢杆菌，Ⅴ、Ⅵ和Ⅶ组分别在基础饲粮中添加 1×10^{8}、1×10^{9} 和 1×10^{10} CFU/kg 粪肠球菌。预试期 7 d，试验期 60 d。结果表明：1)Ⅲ组的末重显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅳ组的平均日采食量显著低于Ⅰ组（$P<0.05$），各组间平均日增重和料重比差异不显著（$P>0.05$）。2）Ⅱ、Ⅲ和Ⅴ组的干物质消化率显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅴ组显著高于Ⅰ、Ⅳ、Ⅵ和Ⅶ组（$P<0.05$）；Ⅴ组的蛋白质消化率显著高于Ⅰ和Ⅶ组($P<0.05$)；各组间脂肪消化率差异不显著（$P>0.05$）。3）Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ组的粪氮含量显著低于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅴ和Ⅵ组的尿氮含量显著低于Ⅰ组（$P<0.05$）。各试验组的氮沉积高于Ⅰ组，但是差异不显著（$P>0.05$）。Ⅲ和Ⅴ组的净蛋白质利用率显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅲ组的蛋白质生物学价值显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）。由此可见，育成期水貂饲粮中添加 1×10^{10} CFU/kg 枯草芽孢杆菌或 1×10^{8} CFU/kg 粪肠球菌时，水貂的生长性能、营养物质消化率、氮沉积、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值更为理想。

收稿日期：2017-05-05
基金项目：国家自然资源平台专项“特种动物种质资源平台”（201701）
作者简介：乜 豪（1992—），男，山东临沂人，硕士研究生，研究方向为单胃动物营养。E-mail：1300491157@qq.com
*通信作者：高秀华，研究员，博士生导师，E-mail： xiuhuagao@126.com

关键词：枯草芽孢杆菌；粪肠球菌；水貂；生长性能；营养物质消化率；氮代谢

中图分类号：S865.2+2

长期以来，饲粮中添加抗生素极大地推动了畜牧业的发展，但随着饲用抗生素的普及，其所带来的弊端日趋凸现，如耐药性的产生、畜禽免疫力下降、肠道正常菌群的破坏、畜产品安全以及抗生素在环境中残留等问题[1]。因此，寻找抗生素替代品尤为重要。研究表明，益生菌是抗生素的最佳替代品之一[1]，益生菌可调节猪禽肠道微生态平衡，促进肠道绒毛发育，提高动物生长性能[2-4]。Lee 等[2]报道，饲粮中添加枯草芽孢杆菌可以提高断奶仔猪的平均日增重（ADG）和饲料转化率，改善肠道健康。裴跃明等[5]研究发现，饲粮中添加枯草芽孢杆菌可显著提高断奶獭兔的平均日增重，降低料重比（F/G）和腹泻率。魏清甜[6]研究指出，饲粮中添加不同水平的粪肠球菌可以提高保育仔猪的生长性能，且添加水平为 200 g/t 时效果最佳，可增强机体免疫性能。贡筱等[7]研究发现，饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌可提高育成期蓝狐的生长性能和营养物质消化率，增加氮沉积。目前，关于枯草芽孢杆菌和粪肠球菌在猪、獭兔等动物上使用的报道较多[2-10]，而在水貂上仍未见报道。为此，本试验拟通过研究饲粮中添加枯草芽孢杆菌和粪肠对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响，筛选出其在育成期水貂饲粮中的适宜添加水平，为枯草芽孢杆菌或粪肠球菌在水貂生产中的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用益生菌均由北京思科福生物科技有限公司提供。经过实验室测定，枯草芽孢杆菌有效活菌数量≥1×10^{10} CFU/g，粪肠球菌有效活菌数量≥1×10^{10} CFU/g。

1.2　试验动物及饲粮

在农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站的毛皮动物生产基地随机选择健康、体重[（957.37±93.96）　g]相近的 60 日龄雄性水貂 70 只。国内目前没有统一的水貂

饲养标准，参照近年来对水貂研究报道[11-12]，配制育成期水貂基础饲粮，其组成及营养水平见表 1，饲粮为干粉料型。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
膨化玉米粉 Extruded corn power	32.9
膨化大豆 Extruded soybean	15.7
鱼粉 Fish meal	20.0
肉骨粉 Meat and bone meal	20.0
血粉 Blood meal	2.5
赖氨酸 Lys	0.3
蛋氨酸 Met	0.3
食盐 NaCl	0.3
豆油 Soybean oil	7.0
预混料 Premix[1)]	1.0
合计 Total	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)[2)]	18.58
粗蛋白质 CP	33.85
粗脂肪 EE	13.84
赖氨酸 Lys	2.44
蛋氨酸 Met	0.73

半胱氨酸 Cys	0.24
钙 Ca	3.06
总磷 TP	1.54

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 niacin acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn 120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

[2)]代谢能为计算值(代谢能=18.8×粗蛋白质+39.8×粗脂肪+17.6×碳水化合物)，其他为测定值。ME was a calculated value (ME=18.8×CP+39.8×EE+17.6×carbohydrate) , while the others were measured values.

1.3 试验设计与饲养管理

试验采用单因素完全随机试验设计，将 70 只水貂随机分成 7 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。Ⅰ组为对照组，饲喂基础饲粮；Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组在基础饲粮中添加枯草芽孢杆菌，添加水平分别为 1×10^9、1×10^{10} 和 1×10^{11} CFU /kg，即每千克饲粮中添加 0.1、1.0 和 10.0 g；Ⅴ、Ⅵ和Ⅶ组在基础饲粮中添加粪肠球菌，添加水平分别为 1×10^8、1×10^9 和 1×10^{10} CFU/kg，即每千克饲粮中添加 0.01、0.10 和 1.00 g。预试期 7 d，试验期 60 d。

试验开始前，对水貂进行常规免疫接种，试验水貂均单笼饲养，每天 08:00 和 15:00 各饲喂 1 次，在试验条件下，2 种益生菌均为每日添加，先溶解在水中，然后加入一定量的饲粮，混合均匀后进行饲喂，自由饮水，试验从 2016 年 7 月 10 日到 2016 年 9 月 14 日在农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站进行。

1.4 消化代谢试验

试验第 42 天，每组挑选 6 只体重相近的水貂进行消化代谢试验，消化代谢试验时间为 2016 年 8 月 27 日至 2016 年 8 月 29 日，共计 3 d。采用全收粪法，消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集尿液，在每 100 mL 尿液中加入 2 mL 的 10%硫酸溶液，

加 4 滴甲苯用于防腐，保存于－20 ℃备用。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，于－20 ℃保存备用。将 3 d 的尿液和粪便分别混合均匀后取样，其中粪便 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.5 测定指标及方法

正试期开始第 1 天早晨对每只水貂进行空腹称重，为初始体重，以后每隔 15 d 称重 1 次，记录水貂的体重，并计算出每组水貂的平均日增重；记录每只水貂每天的给料量和剩料量，计算每组水貂的平均日采食量（ADFI）以及料重比。

饲粮及排泄物中的干物质含量采用烘箱以烘干法进行测定，参考 GB/T 6435—2006[13]；粗脂肪含量采用索氏抽提器以索氏抽提法进行测定，参考 GB/T 6433—2006[14]；粗蛋白质含量采用 FOSS 凯氏定氮仪以凯氏定氮法进行测定，参考 GB/T 6432—1994[15]；营养物质消化率采用张丽英[16]的方法进行计算。

各指标计算公式如下：

平均日增重(g/d)=(末重－初重)/试验天数；

平均日采食量(g/d)=试验期采食量/试验天数；

料重比=平均日采食量/平均日增重；

干物质消化率(%)=［(干物质采食量－干物质排出量)/干物质采食量］×100；

蛋白质消化率(%)=［(蛋白质摄入量－粪中蛋白质含量)/蛋白质摄入量］×100；

脂肪消化率(%)=［(脂肪摄入量－粪中脂肪含量)/脂肪摄入量］×100；

氮沉积(g/d)=食入氮－粪氮－尿氮；

净蛋白质利用率(%)=(氮沉积/食入氮)×100；

蛋白质生物学价值(%)=［氮沉积/(食入氮－粪氮)］×100。

1.6 数据处理

结果以平均值±标准差表示，试验数据采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析，采用单因素

方差分析（one-way ANOVA）进行差异显著性检验，其中 P<0.05 为差异显著。

2　结　果

2.1　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，各试验组水貂的末重均高于对照组，且Ⅲ组显著高于对照组（P<0.05）。各组间平均日增重和料重比差异不显著（P>0.05），但各试验组水貂平均日增重均高于对照组，分别提高了 13.19%、15.65%、9.37%、13.98%、9.61%和 7.15%。各试验组水貂的料重比均低于对照组，分别降低了 12.75%、14.40%、15.03%、15.23%、13.89%和 5.70%。各试验组水貂的平均日采食量均低于对照组，且Ⅳ组显著低于对照组（P<0.05），与其他组差异不显著（P>0.05）。

表 2　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary *Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecalis* on growth performance of minks during growing period

项目 Items	组别 Groups						
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
始重 IW/g	955.4±102.45	962.9±97.68	956.9±94.45	956.0±90.33	957.5±105.98	952.4±91.41	960.5±104.39
末重 FW/g	1 696.0±164.10^{a}	1 825.0±105.40^{ab}	1 892.5±93.59^{b}	1 754.0±148.04^{ab}	1 820.0±188.02^{ab}	1 791.7±86.58^{ab}	1 746.3±125.24^{ab}
平均日增重 ADG/（g/d）	12.59±3.02	14.25±1.65	14.56±1.84	13.77±2.10	14.35±1.28	13.80±1.71	13.49±1.29
平均日采食量 ADFI/（g/d）	137.96±6.93^{a}	125.76±10.23^{ab}	128.4±2.12^{ab}	120.43±7.97^{b}	122.60±7.39^{ab}	123.41±12.41^{ab}	127.05±7.78^{ab}

料重比 F/G	9.65±1.46	8.42±0.28	8.26±0.85	8.20±1.06	8.18±0.54	8.31±1.81	9.10±0.57

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂营养物质消化率的影响

由表 3 可知，各试验组干物质采食量均略低于对照组的，但差异不显著（P>0.05）。各试验组的干物质排出量均低于对照组，且Ⅴ组的干物质排出量显著低于对照组（P<0.05），各试验组间差异不显著（P>0.05）。各试验组的干物质消化率、蛋白质消化率和脂肪消化率均高于对照组，且Ⅱ、Ⅲ和Ⅴ组的干物质消化率显著高于对照组（P<0.05），Ⅴ组显著高于对照组和Ⅳ、Ⅵ、Ⅶ组（P<0.05）；Ⅴ组的蛋白质消化率显著高于对照组和Ⅶ组(P<0.05)；各组间脂肪消化率差异不显著（P>0.05）。

表 3　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂营养物质消化率的影响

Table 3　Effects of dietary *Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecalis* on nutrient digestibility of minks during growing period

项目	组别 Groups						
Items	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
干物质采食量 DM intake/g	131.70±13.07	129.05±11.51	130.37±5.17	124.32±11.11	127.03±11.80	127.31±10.19	129.25±8.81
干物质排出量 DM output/g	39.07±4.93[a]	36.63±4.38[ab]	36.43±1.08[ab]	34.47±3.69[ab]	32.70±2.89[b]	33.99±5.49[ab]	36.08±2.11[ab]
干物质消化率 DM digestibility/%	69.08±0.65[a]	71.83±0.56[bc]	71.47±1.13[bc]	70.89±1.47[ab]	72.91±1.34[c]	70.44±0.74[ab]	70.28±1.65[ab]

蛋白质消化率 Protein digestibility/%	84.75±0.96[a]	86.00±1.16[ab]	86.25±1.26[ab]	86.17±0.75[ab]	87.00±1.58[b]	85.33±0.58[ab]	85.20±0.84[a]
脂肪消化率 Fat digestibility/%	89.50±3.11	91.83±0.58	92.00±0.82	91.60±0.55	92.60±1.52	92.50±2.52	91.67±2.52

2.3　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知，各试验组的食入氮、粪氮和尿氮含量均低于对照组，但各组间食入氮含量差异不显著（*P*>0.05）；Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ组的粪氮含量显著低于对照组（*P*<0.05）；Ⅴ和Ⅵ组的尿氮含量显著低于对照组（*P*<0.05）。各试验组氮沉积均高于对照组，但是差异不显著（*P*>0.05）。各试验组的净蛋白利用率和蛋白质生物学价值均高于对照组，且III和Ⅴ组的净蛋白质利用率显著高于对照组（*P*<0.05）；III组的蛋白质生物学价值显著高于对照组（*P*<0.05）。

表 4　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂氮代谢的影响

Table 4　Effects of dietary *Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecalis* on nitrogen metabolism of minks during growing period

项目 Items	组别 Groups						
	I	II	III	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
食入氮 NI（g/d）	7.23 ±0.68	7.08 ±0.72	7.06 ±0.28	6.70 ±0.65	6.88±0.64	6.68±0.67	7.00±0.48
粪氮 FN（g/d）	1.78±0.17[b]	1.61±0.24[ab]	1.59±0.14[ab]	1.51±0.17[a]	1.46±0.23[a]	1.50±0.26[a]	1.56±0.06[ab]
尿氮 UN（g/d）	3.93±0.25[b]	3.62±0.11[ab]	3.45±0.46[ab]	3.25±0.24[ab]	3.07±0.64[a]	2.99±0.53[a]	3.44±0.51[ab]
氮沉积 RN（g/d）	1.62±0.17	1.90±0.12	1.93±0.24	1.80±0.31	1.92±0.60	1.83±0.06	1.79±0.19

净蛋白质利用率 NPU/%	21.46±2.66[a]	26.16±1.79[ab]	27.53±3.34[b]	26.00±3.89[ab]	27.26±4.08[b]	25.32±3.92[ab]	25.60±2.79[ab]
蛋白质生物学价值 BV of protein/%	30.06±4.12[a]	33.30±3.55[ab]	37.81±6.02[b]	34.42±5.18[ab]	35.98±2.67[ab]	33.69±5.31[ab]	32.97±4.04[ab]

3 讨 论

3.1 饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂生长性能的影响

研究发现，饲粮中添加益生菌有促进动物生长和提高饲料转化率的作用[5-8]。周映华等[17]报道，饲粮添加不同水平的枯草芽孢杆菌可以提高断奶仔猪的生长性能，降低料重比。魏清甜[6]研究发现，饲粮添加不同水平的粪肠球菌可以提高保育仔猪的生长性能。贡筱等[18]研究发现，饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌可以提高育成期蓝狐的终末体重，降低料重比。从本试验结果可以看出，饲粮添加 1×10^{10} CFU/kg 枯草芽孢杆菌组水貂的末重显著高于对照组，各试验组水貂的平均日增重均高于对照组，各试验组的料重比均低于对照组。这与前人的研究结果相似。这说明饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌可以提高育成期水貂的生长性能。然而，刘进军等[19]发现，饲粮中添加益生菌（0.06 g 地衣芽孢杆菌＋0.06 g 枯草芽孢杆菌）不会显著改善水貂的生长性能，无需在饲粮中添加益生菌；产生差异的原因可能与益生菌的添加水平及动物的饲粮、生理状态和饲养环境不同等试验因素有关[20]。随着枯草芽孢杆菌添加水平的升高，水貂的生长速度减缓，说明枯草芽孢杆菌发挥益生作用并不是添加水平越高效果越好，与郭俊刚等[21]研究益生菌对蓝狐生长性能等影响时得出的结果一致。饲粮添加 1×10^8 CFU/kg 粪肠球菌时，水貂获得了较好的生长性能，由于这是最低添加水平，所以最佳添加水平还有待于进一步研究。

3.2 饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂营养物质消化率的影响

影响水貂采食量的因素有饲粮的适口性和饲粮的能量水平等[22]，从本试验结果发现，饲粮添加益生菌可降低料重比，但对干物质采食量的影响并不显著。李瑞等[23]研究指出，

在生长猪饲粮中添加微生态制剂（主要含乳酸杆菌、芽胞杆菌和酵母菌）可以显著提高粗蛋白质的表观消化率，提高粗脂肪的表观消化率。Giang 等[24]研究表明，饲粮中添加益生菌可以显著提高断奶仔猪的营养物质消化率。荆祎等[25]报道，水貂饲粮中添加乳酸杆菌可以提高水貂干物质、蛋白质和脂肪的消化率。本试验结果与前人研究结果一致，饲粮添加枯草芽孢杆菌后，各试验组的营养物质消化率与对照组相比均有不同程度提高，以添加 1×10^{10} CFU/kg 枯草芽孢杆菌组的效果最好，与对照组相比，其干物质消化率显著提高，蛋白质和脂肪消化率分别提高了 1.77%和 2.79%。枯草芽孢杆菌菌体可以自身合成淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶、纤维素酶等酶类，在消化道中与水貂体内的消化酶类一同发挥作用，促进动物对营养物质的吸收，提高营养物质的消化率[18]。本试验中，饲粮中添加粪肠球菌的试验组中以 1×10^{8} CFU/kg 组效果最佳，相比对照组，其干物质和蛋白质消化率显著提高。随着粪肠球菌添加水平的增加，营养物质的消化率反而有所降低。适量的添加可以产生抗菌物质抑制大肠杆菌等的生长繁殖，产生促生长因子和消化酶，促进肠道发育和营养成分的消化吸收，但过量的添加可能破坏了水貂的肠道菌群平衡，导致了有益菌数量的减少[26-27]。研究表明，益生菌可促进断奶仔猪肠道发育，一定程度上增加小肠的黏膜厚度，增加肠道绒毛长度，加深隐窝深度，从而增加小肠的吸收面积，促进动物的生长[3]。由此可知，添加益生菌后有可能促进了水貂的肠道发育，增加了肠道吸收面积，从而提高了营养物质的消化率。

3.3　饲粮中添加枯草芽孢杆菌或粪肠球菌对育成期水貂氮代谢的影响

氮平衡是研究蛋白质代谢的一个重要指标[22]。荆祎等[25]研究表明，水貂饲粮中添加乳酸杆菌可以降低粪氮和尿氮含量，提高净蛋白质利用率，降低了血液中尿素氮的含量。郭俊刚等[21]指出，饲粮中添加适宜水平的益生菌可提高蓝狐的净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值。从本试验结果可看出，各组水貂食入氮含量差异不显著，各试验组粪氮和尿氮含量均低于对照组，且Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ组粪氮含量显著低于对照组，Ⅴ和Ⅵ组尿氮含量显著低于对照组。饲粮中添加益生菌提高了蛋白质的消化率，降低了粪氮含量；有研究指出[7,28]，饲粮添加益

生菌后可以减少血清中的尿素氮含量。尿氮含量降低的原因可能是添加益生菌后，促进了尿素循环，减少了尿素的排放。畜牧业中动物的排泄物是造成环境中氮污染主要原因之一，动物健康又会被动物排放在畜舍中的氮严重影响，而且如果粪尿不加以处理，也会加重局部环境污染；添加益生菌降低了粪尿中的氮含量，这为降低养殖场对环境造成的污染提供了新的研究方向。各试验组的氮沉积、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值均高于对照组，枯草芽孢杆菌添加水平为 1×10^{10} CFU/kg 时，氮沉积最多，净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值与对照组差异显著。由此可见，饲粮中添加益生菌可以提高水貂的氮沉积，净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值。

4 结 论

饲粮中添加 1×10^{10} CFU/kg 枯草芽孢杆菌或 1×10^{8} CFU/kg 粪肠球菌时可以更好地提高育成期水貂的生长性能、营养物质消化率、氮沉积、净蛋白质利用率及蛋白质生物学价值。

参考文献：

[1] 窦茂鑫,吴涛.饲用微生态制剂的发展现状与应用性研究[J].饲料研究,2013(1):13–17.

[2] LEE S H,INGALE S L,KIM J S,et al.Effects of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* LS 1–2 fermentation biomass on growth performance,nutrient digestibility,cecal microbiota and intestinal morphology of weanling pig[J].Animal Feed Science and Technology,2014,188:102–110.

[3] 齐博,武书庚,王晶,等.枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生长性能、肠道形态和菌群数量的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1748–1756.

[4] 黄怡,郭乾鹏,梁世忠,等.屎肠球菌对仔猪肠道健康的影响[J].动物营养学报,2016,28(4):968–973.

[5] 裴跃明,王迎松,王世磊,等.枯草芽孢杆菌制剂对断奶獭兔生长性能和免疫的影响[J].饲料研究,2016(6):20–23,28.

[6] 魏清甜.粪肠球菌替代饲用抗生素对保育仔猪生产、免疫、肠道发育及肠道微生物的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2014.

[7] 贡筱,郭俊刚,吴学壮,等.饲粮中添加枯草芽孢杆菌和粪肠球菌对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(4):1004–1010.

[8] GUGOLEK A,LOREK M O,ROTKIEWICZ Z,et al.Effects of probiotic bacteria on the performance of arctic foxes,pathmorphology and microflora of their alimentary tracts[J].Czech Journal of Animal Science,2004,49(6):265–270.

[9] LOREK M O,GUGOLEK A A,SZAREK J,et al.Effects of a new generation feed supplement in some performance indices and health state in mink[J].Scientifur,2000,24(4):86–88.

[10] LOREK O M,GUGOLEK A,HARTMAN A.Nutrient digestibility and nitrogen retention in arctic foxes fed a diet containing cultures of probiotic bacteria[J].Czech Journal of Animal Science-UZPI,2001,24:116–128.

[11] 张铁涛,张志强,任二军,等.饲粮蛋白质水平对育成期水貂营养物质消化率及生长性能的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):1101–1106.

[12] 张海华,张铁涛,刘晓颖,等.不同饲粮蛋白质和脂肪水平对育成期雄性水貂生长性能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(10):3248–3255.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 6435—2006 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2006.

[15] 国家技术监督局.GB/T 6432—1994 饲料中粗蛋白测定方法[S].北京:中国标准出版社,1994.

[16] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[17] 周映华,周小玲,吴胜莲,等.不同剂量枯草芽孢杆菌对断奶仔猪生产性能及腹泻的影响[J].饲料博览,2012(4):29–31.

[18] 贡筱.饲粮中添加枯草芽孢杆菌和粪肠球菌对蓝狐生产性能、消化代谢及免疫功能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.

[19] 刘进军,刘洁,任二军,等.不同组合益生菌对育成期水貂生长性能和消化代谢规律的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(6):121–125.

[20] CHESSON A.Probiotics and other intestinal mediators[M]//COLE D J A,WISIMAN J, VARLEY M A.Principles of pig science.Loughborough,UK:Nottingham University Press,1994:197–214.

[21] 郭俊刚,贡筱,张铁涛,等.饲粮中添加益生菌对冬毛期蓝狐生长性能、营养物质消化率及毛皮品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(8):2232–2239.

[22] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[23] 李瑞,侯改凤,郭理洋,等.微生态制剂对生长猪生产性能、氮磷排放量及血清免疫指标的影响[J].家畜生态学报,2013,34(6):66–71.

[24] GIANG H H,VIET T Q,OGLE B,et al.Growth performance,digestibility,gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with a complex of lactic acid bacteria alone or in combination with *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces boulardii*[J].Livestock Science,2012,143(2/3):132–141.

[25] 荆祎,李光玉,刘晗璐,等.不同乳酸杆菌添加剂对水貂生长性能、营养物质消化率、氮平衡及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(9):2160–2167.

[26] GOLDIN B R.Health benefits of probiotics[J].The British Journal of Nutrition,1998,80(4):S203–S207.

[27] HOLZAPFEL W H,HABERER P,SNEL J,et al.Overview of gut flora and probiotics[J].International Journal of Food Microbiology,1998,41(2):85–101.

[28] AMBER K H,YAKOUT H M,HAMED R S.Effect of feeding diets containing yucca extract or probiotic on growth,digestibility,nitrogen balance and caecal microbial activity of growing New Zealand white rabbits[C]//Proceedings of the 8th World Rabbit Congress.Puebla, Mexico:WRC,2004:737–741.

Effects of Dietary *Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecalis* on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Nitrogen Metabolism of Minks during Growing Period[i]

NIE Hao[1] ZHANG Tietao[2] CUI Hu[1] WANG Zhongcheng[1] XIE Jingjing[1] GAO Xiuhua[1*]

（1. *Key Laboratory for Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Institute of Feed Research*，*Chinese Academy of Agriculture Sciences*，*Beijing* 100081，*China;* 2. *Institute of Special Animal and Plant Science*，*Chinese Academy of Agriculture Sciences*，*Changchun* 130112，*China*）

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary *Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecalis* on growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of minks during growing period. The experiment was designed using a single factor complete randomized trial. Seventy healthy male 60-day-age minks with average weight of (957.37±93.96) g were randomly divided into 7 groups with 10 replicates per group and 1 mink per replicate. Group Ⅰ (control group) was fed a basal diet, groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were fed the basal diet supplemented with 1×10^9, 1×10^{10} and 1×10^{11} CFU/kg *Bacillus subtilis*, and groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ were fed the basal diet supplemented with 1×10^8, 1×10^9 and 1×10^{10} CFU/kg *Enterococcus faecalis*, respectively. The adaptation period lasted for 7 days and the formal trial period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) the final weight of group Ⅲ was significantly higher

than that of group Ⅰ (P<0.05), the average daily feed intake of group Ⅵ was significantly lower than that of group Ⅰ(P<0.05), the average daily gain and feed to gain ratio had no significant difference among all groups (P>0.05). 2) The dry matter digestibility of groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅴ was significantly higher than that of group Ⅰ (P<0.05), and the dry matter digestibility of group Ⅴ was significantly higher than that of groups Ⅰ, Ⅳ, Ⅵ and Ⅶ (P<0.05); the protein digestibility of group Ⅴ was significantly higher than that of groups Ⅰ and Ⅶ (P<0.05), the fat digestibility had no significant difference among all groups (P>0.05). 3) The fecal nitrogen content of groups Ⅳ, Ⅴ and Ⅵ was significantly lower than that of group Ⅰ (P<0.05), the urinary nitrogen content of groups Ⅴ and Ⅵ was significantly lower than that of group Ⅰ (P<0.05). The nitrogen deposition of test groups was higher than that of group Ⅰ, but had no significant difference (P>0.05). The net protein utilization of groups Ⅲ and Ⅴ was significantly higher than that of group Ⅰ (P<0.05), and the biological value of protein of group Ⅲ was significantly higher than that of group Ⅰ (P<0.05). In conclusion, when dietary supplemented with 1×10^{10} CFU/kg *Bacillus subtilis* or 1×10^{8} CFU/kg *Enterococcus faecalis*, the growth performance, nutrient digestibility, nitrogen deposition, net protein utilization and biological value of protein of minks are more preferably.

Key words: *Bacillus subtilis*; *Enterococcus faecalis*; minks; growth performance; nutrient digestibility; nitrogen metabolism

---

*Corresponding author, professor, E-mail: xiuhuagao@126.com (责任编辑　武海龙)